

# 「シリコン」絶縁直流電動機の試作 (第2報)

「シリコン」絶縁物の温度上昇と熱伝導率との関係  
並びにその一般式について

藤 宗 寛 治

## A Trial Manufacture of a Silicone Insulated Direct Current Motor. (II)

Empirical Formula about the Relation Between Temperature  
Rise and Thermal Conductivity of Silicone Insulation

Hiroharu FUJISO.

In the present paper the author deals with the test data of the thermal conductivity of silicone insulation continuing from the previous issue.

An empirical formula about the relation between the thermal conductivity of silicone insulation and temperature rise is derived and checked from the results of the series of two different investigations.

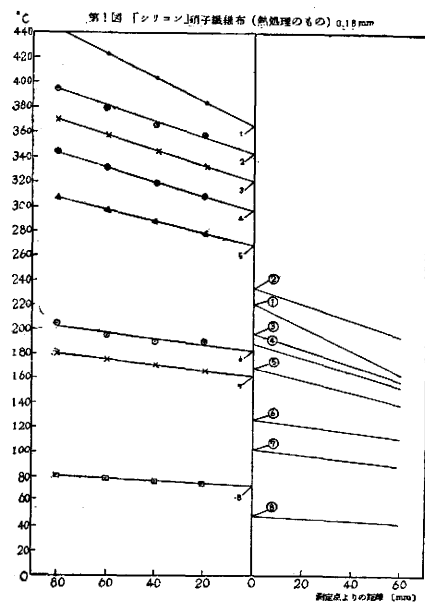
### 1. 緒 言

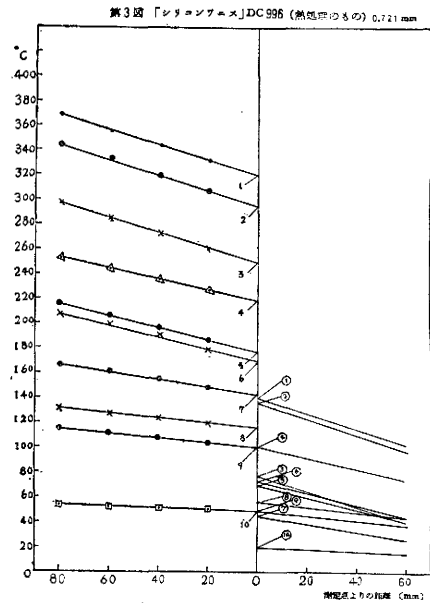
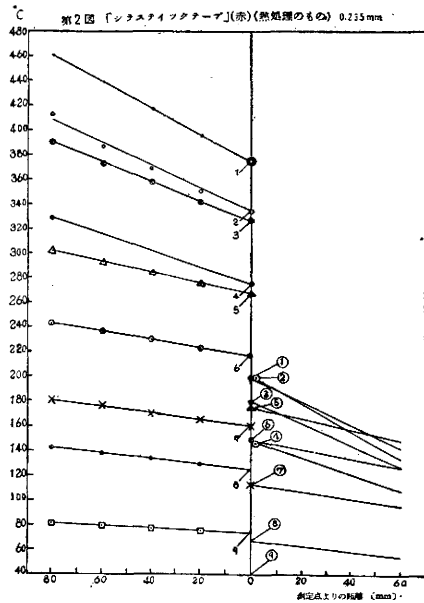
「シリコン」絶縁物の熱伝導率と温度上昇との関係については、第1報にその概要を報告した。

一般に電気絶縁物の熱伝導率は温度に関して不変であるとして取扱われる場合が多いが、筆者の場合はH種絶縁への関連をも考慮しているので、温度上昇に対するその関係を確認して置くことが必要である。本報告では第1報と同じく温度傾斜法により多数の測定を行いその関係式を作り線輪温度分布法から得た値との比較も行い一般式を検討した。

### 2. 測定の理論及びその結果

温度傾斜法による理論方法等は第1報所載の通りで只今回は装置の熱絶縁に注意し接触面は「グリセリン」「シリコンワニス」等を用いず良好な圧着のまゝとした。試料は何れも cure を施した。その結果は次の通りである。これを図に示すと第1図から第3図のようになる。





番号	試料よりの距離 (mm)	測定点 温度 (°C)							
		80	60	40	20	0	0	20	60
(a) 維布厚さ0.6mm シリコン硝子織	1	442	423	404	384	365	222	183	163
	2	394	381	368	355	342	234	208	195
	3	370	357	344	331	318	197	171	158
	4	344	331	320	308	297	189	165	154
	5	308	297	288	278	269	169	149	140
	6	202	197	192	188	183	127	117	112
	7	180	175	171	166	162	107	94	89
	8	81	79	77	75	73	49	45	43
(b) シラップ厚さ0.3mm ステイツクテ	1	460	438	416	396	374	200	156	134
	2	408	390	372	354	334	200	162	143
	3	390	374	358	342	324	179	144	128
	4	329	316	302	288	274	148	121	108
	5	302	292	284	276	268	175	158	150
	6	242	236	230	223	216	148	134	128
	7	181	176	170	166	160	111	101	96
	8	142	138	134	129	125	67	59	55
	9	81	79	77	73	73	34	—	—
(c) シリコンニス厚さ0.7mm DC 996	1	368	356	344	331	320	140	116	104
	2	344	331	319	306	294	136	110	98
	3	297	285	273	261	249	77	53	40
	4	253	244	236	227	218	100	84	74
	5	215	206	196	182	177	70	50	40
	6	208	198	188	179	170	62	54	44
	7	166	160	154	148	143	44	32	26
	8	132	128	124	120	116	56	48	44
	9	115	111	108	104	100	48	42	38
	10	54	52	51	50	48	20	17	16

第1報で示したように,

$$k_1 \frac{d\theta_1}{dx_1} = -k_2 \frac{d\theta_2}{dx_2}, \quad (k_1, \theta_1, x_1 \text{ は鋼母材}, k_2, \theta_2, x_2 \text{ は試料})$$

なる式から軟鋼母材の熱伝導率  $k_1 = 60 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$  と実測したから, 「シリコン」絶縁物の熱伝導率は温度上昇に対して次の如き値となる。

## (a) シリコン硝子繊維布 (0.18 mm)

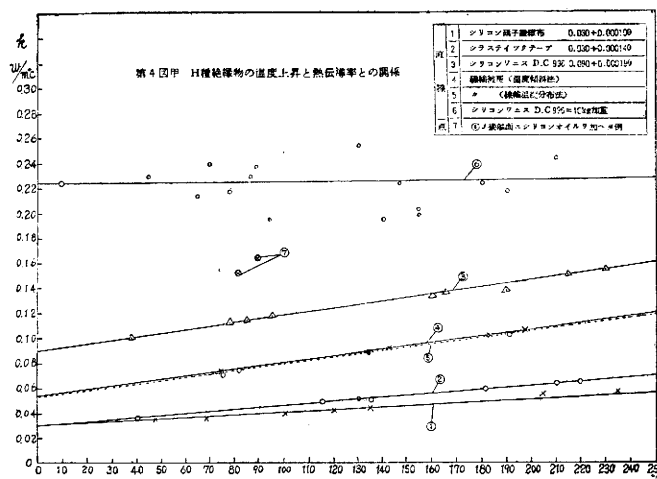
温度 [°C]	48°	120°	135°	205°	214°	235°
熱伝導率 [W/m°C]	0.04	0.05	0.042	0.056	0.064	0.058

## (b) シラスティクテープ (0.235 mm)

温度 [°C]	40°	115°	130°	135°	181°	210°	220°
熱伝導率 [W/m°C]	0.038	0.055	0.056	0.056	0.066	0.072	0.075

## (c) シリコンワニス (DC 996) (0.721 mm)

温度 [°C]	38°	79°	85°	160°	165°	215°	230°
熱伝導率 [W/m°C]	0.10	0.12	0.118	0.15	0.153	0.174	0.176



この結果を図で示すと第4図の如くなる。この図から此等の試料についての熱伝導率と温度上昇の関係を示す一般式を求めると次のようになる。

種 別	熱伝導率 W/m°C	備 考
シリコンガラス繊維布	$0.030 + 0.00010 \theta$	$\theta$ : 温度 [°C]
シラスティクテープ	$0.030 + 0.00014 \theta$	
シリコンワニス (DC 996)	$0.090 + 0.00019 \theta$	

今この値を用いて二重硝子繊維糸巻電線を以て線輪を作りこれを「シラスティクテープ」半掛巻の上「シリコンワニス」(DC 996)を以て含浸したものの線輪壁平均熱伝導率を求めると平均熱伝導率は一般に次の式<sup>21)</sup>で表わされるから

$$k_m = \frac{1}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{k_i} \right)}$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \delta_i, (\delta \text{ は各固体層の壁の厚さ}), k \text{ は熱伝導率}$$

これに実測の結果「シラスティクテープ」半掛巻の厚さ  $\delta_1 = 0.47$  [mm] 含浸「ワニス」の厚

さ  $\delta_2 = 1.05$  [mm]

即ち  $\Delta \approx 1.5$  [mm] を入れると  $50^\circ\text{C}$  に対しては,

$$k_{m50} = \frac{1.5}{(0.47/0.04 + 1.05/0.108)} = 0.0702 \text{ [W/m}^\circ\text{C]}$$

同様に、 $100^\circ\text{C}$  に対しては  $0.086$  [W/m $^\circ\text{C}$ ],  $150^\circ\text{C}$  に対しては  $0.095$  [W/m $^\circ\text{C}$ ] を得る。  
この関係は第4図甲に③線輪被覆として示した。

所で Richter<sup>3)</sup> の示した Nusselt の木綿に対する熱伝導率は  $100^\circ\text{C}$  で  $0.069$  [Watt/m $^\circ\text{C}$ ] で含浸したものは  $0.27$  [W/m $^\circ\text{C}$ ] とされている。筆者の実験が Nusselt の与えた数値と如何なる程度に対応するかを吟味するため W-23 「ワース」を以て含浸した木綿試料を作りこれを第1報所載によつて試験した。最初低温域では  $0.156$  [W/m $^\circ\text{C}$ ] であつたが  $100$  [°C] 附近から高い値を示し始め「ワース」が軟化して接着したと思われる頃になるとその値は略安定して5回の平均値は  $0.294$  [w/m $^\circ\text{C}$ ] となつた。これに鋼母材の熱伝導率の変化を考慮して校正を施すとその値は  $0.28$  [w/m $^\circ\text{C}$ ] となり Nusselt の示した値と略一致する。Nusselt の実験の方法及試料が詳らかでないから直接比較することはできないがこれを木綿含浸という分類の中において考えるなら Nusselt の値と筆者の測定値とは殆んど一致しているからもし Nusselt の測定を正しいものとすれば筆者の測定値との比は 1 乃至 1.74 の間の変化を考え得る訳である。

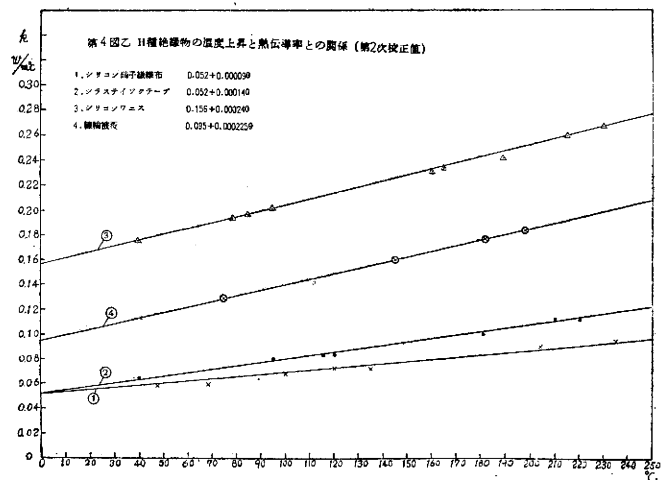
そこで「シリコン」絶縁物の場合 DC 996 含浸の「シラステックテープ」半掛巻の試料で  $55$  [°C],  $0.166$  [kg/cm $^2$ ] 加重の時  $0.167$  [w/m $^\circ\text{C}$ ] であつたものに加重を  $0.826$  [kg/cm $^2$ ] に増加した場合は  $0.184$  [w/m $^\circ\text{C}$ ] となつた。

又 DC 996 皮膜の場合は  $0.166$  [kg/cm $^2$ ] 加重の時と  $0.826$  [kg/cm $^2$ ] 加重の時ではその比は約2倍となつている。

更に DC996 皮膜の間に「シリコンオイル」を入れると  $0.166$  [kg/cm $^2$ ] の場合約 250 % 高い値を示した。

これ等の状況は第4図甲に③, ⑥, ⑦として示した。

以上のことから圧着力, 介入空気層の厚さ, 試料の含水率等によつて測定値の変化することが考えられる。そこで Nusselt との比較で試料を入れた直後の値と最後の値とでは 1.74 倍となつたからこれを校正基準と仮定すると第4図乙の如き第2次校正值を得る。



### 3. 線輪の温度分布より熱伝導率を求める方法

「シリコン」絶縁物の熱伝導率を個々に測定してこれが線輪に作製された場合の合成平均熱伝導率は前節に之を計算して示したが本節では実際の線輪を作製しこれに通電することによつてその温度分布を測定してこれよりその合成平均熱伝導率を測定することについて述べることにする。

(a) 定常状態における熱伝達の微分方程式

普通線輪は円筒状又はそれに近い状をなすがある条件の下ではその切断面は矩形で且更に両面

並行なる平板型として取扱うことができる。

今平板型熱伝導体があつて、その単位表面を通じて単位時間に2より1に向つて熱の移動がある場合流れる熱量  $\omega$  は壁の温度をそれぞれ  $t_2, t_1$ ,  $k$  を熱伝導率,  $\delta$  を壁の厚さすると,

$$\omega = \frac{k(t_2 - t_1)}{\delta} \dots\dots\dots (1)$$

を以て表わされる。

もし第5図のような切断面をもつ絶縁電線の場合には、其の熱絶縁体  $\delta$  内に於ける温度降下  $\theta_\delta = (t_2 - t_1)$  は次式で示される。

$$\theta_\delta = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot k} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに  $Q$  は発生熱量,  $F$  は熱絶縁体の表面積で之を第5図の如く線輪の平均周長を  $u$ , 線輪の平均長を  $l$  で表わすと  $F = u \cdot l$  である。

(1) 式は内部に熱源がある場合には次の微分形に書き表わされる。

$$\omega = -k \frac{dt}{ds} \dots\dots\dots (3)$$

こゝに  $ds$  は熱流の方向にとつた微小長で、 $-dt/ds$  は温度勾配,  $k$  は熱伝導率を表わす。

一般に任意の空間における熱伝導を考える場合には微小体積  $d\tau$  から単位時間に流出する熱量は、これを直角座標で表わせば、

$$\begin{aligned} \text{div } W \, d\tau &= \left( \frac{\partial \omega_x}{\partial x} + \frac{\partial \omega_y}{\partial y} + \frac{\partial \omega_z}{\partial z} \right) d\tau, \\ &= - \left( k_x \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) d\tau \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

こゝで  $k_x, k_y, k_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$  はそれぞれ熱伝導率及熱量の  $xyz$  軸に関する成分である。

定常状態に達すると、単位体積から発生する熱量は最早温度上昇を来たすことがないのでこの熱量を  $q \, d\tau$  とおけば微分方程式は

$$q + k_x \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

となる。

(b) 線輪切断面における温度分布

今熱伝導率  $k$  が何れの方向にも一定なる無限の広さを持つ平面を考えその場合熱が  $x$  軸の方向丈へ流れるものと仮定すると、(5) の微分方程式は温度  $t$  なる場所が  $0^\circ$  を基準として  $\theta$  なる温度上昇を持つているとすると、

$$q + k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

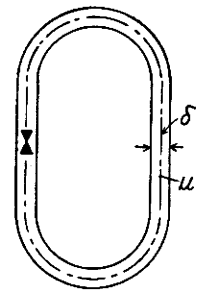
これを解くと、

$$\theta = -\frac{qx^2}{2k} + Ax + B \dots\dots\dots (7)$$

こゝに  $A, B$  は積分常数で、今これを決定するために

$$x = -\frac{d}{2} \text{ の時 } \theta = \theta_1, \quad x = +\frac{d}{2} \text{ の時 } \theta = \theta_2 \text{ とおくと,}$$

第 5 図



$$A = (\theta_2 - \theta_1)/\Delta, \quad B = (\theta_1 + \theta_2)/2 + q\Delta^2/8k \quad \dots\dots\dots (8)$$

となりこれより

$$\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2 + x(\theta_2 - \theta_1)/\Delta + q\Delta^2/8k \left[ 1 - (2x/\Delta)^2 \right] \quad \dots\dots (9)$$

今  $d\theta/dx = 0$  とおけば最高温度  $\theta_{max}$  を得る。

$$(x)_{\theta_{max}} = k(\theta_2 - \theta_1)/q\Delta \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\theta_{max} = (\theta_1 + \theta_2)/2 + (\theta_2 - \theta_1)^2 k / 2q\Delta^2 + q\Delta^2/8k \quad \dots\dots\dots (11)$$

平板の平均温度上昇  $\theta_w$  は

$$\theta_w = \frac{1}{\Delta} \int_{-\Delta/2}^{+\Delta/2} \theta \, dx = (\theta_1 + \theta_2)/2 + q\Delta^2/12k \quad \dots\dots\dots (12)$$

以上によつて(9)式から第6図のように線輪内の温度分布が決定せられる。心線の絶縁が破壊しないためには(11)式の  $\theta_{max}$  はその耐熱限度をこえてはならぬのである。

もし第7図のように絶縁被覆内の温度降下  $\theta_\delta$  が判明し又  $\theta_1 \approx \theta_2$  で(9)式の  $(\theta_2 - \theta_1) 2x/2\Delta$  の項が無視し得ると仮定すると被覆内面温度  $\theta_1$  と被覆外表面の温度  $\theta_a$  との間には、

$$\theta_1 = \theta_a + \theta_\delta \quad \dots\dots\dots (13)$$

なる関係が成立する。

しかるに(2)式によつて

$$\theta_\delta = Q\delta / F \cdot k$$

であるから、 $\delta$  を通じて伝導される熱量は  $Q/F$  でこれは又  $q \cdot \Delta/2$  と等しい。

よつて  $Q/F = q\Delta/2$  とおけば  $\theta_\delta = q\Delta/2 \times \delta/k_j$  となる。 $k_j$  は  $\delta$  部分の熱伝導率とする。

これより

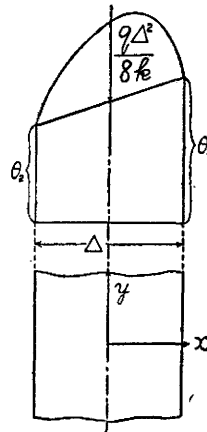
$$k_j = q\Delta\delta/2(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots\dots\dots (14)$$

となるから被覆の平均熱伝導率を求めることができる。

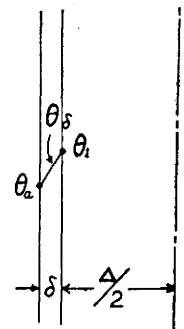
(c) 試料の作製

1.6 [mm] 二重硝子繊維糸巻「シリコンワニス」DC 1089 処理の電線(住友電線株式会社製)を以て第5図の如き線輪を作り「シラスティックテープ」半掛巻の上DC 996「シリコンワニス」を真空含浸し乾燥 Cure を行つた。測温の為 0.35 [mm] の銅-「コンスタンタン」熱電対を先端銀鍍付して巻線時挿入し熱電対の沿面効果を考慮して何れも上方へ導き出した。外表面の熱電対は「シ

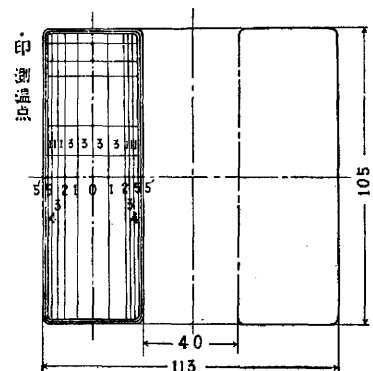
第 6 図



第 7 図



第 8 図

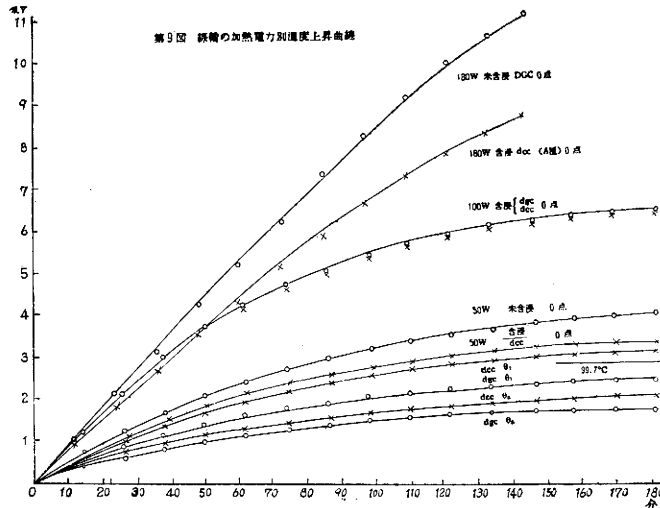


リコンゴム」の薄膜で張りつけ指感露出の程度とした。これを切換式 mv 計及島津製作所製 6 接点自記記録計を以て測温し得るようにした。線輪の「ワニス」処理については別にのべる。

#### (d) 測定の結果

自記記録計のよつて得た多数の結果の中その一例を示すと 50 watt, 100 watt, 180 watt 別にその時間対温度上昇曲線は第 9 図の通りである。

之を線輪切断面について温度分布の形で示すと第 10 図のようになる。



抵抗法によつて  $R = R_0 \{1 + 0.00393 (t - t_0)\}$  として測定した線輪の平均動作温度  $\theta_w$  及び比抵抗  $\rho$  等は次の通りになる。

種 別	$\theta_w [^{\circ}\text{C}]$	$\rho [\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$	電流密度 $G [\text{Amp}/\text{mm}^2]$	電 流 [Amp]	電 圧 [V]	抵 抗 $R/R_0$
180 watt	242	0.032	3.5	7	26.5	3.8/2.05
150 watt	216	0.0302	3.45	6.8	24	3.63/2.05
112.1 watt	171	0.0272	2.85	5.9	19	3.28/2.05
40 watt	107	0.0227	2.2	4.4	11.5	2.7/2.05

$\epsilon$  を線輪の占積率とすると、銅面積  $1940 \text{ mm}^2$ /全面積  $3820 \text{ mm}^2$  即ち  $\epsilon = 0.51$  となる。  
内部の単位体積に単位時間に発生する熱量  $q$  は  $G$  を電流密度、 $\rho$  を比抵抗とすると、

$$q = \epsilon G^2 \rho [\text{watt}/\text{cm}^3]$$

以上から (14) 式によつて  $k_f$  を求める。「シリコン」硝子繊維布の例を示すと次の通りである。

	$\theta_i [^{\circ}\text{C}]$	$\theta_a [^{\circ}\text{C}]$	$\theta_i - \theta_a [^{\circ}\text{C}]$	$q [\text{w}/\text{cm}^3]$	$q\Delta$	$k_f [\text{watt}/\text{m}^{\circ}\text{C}]$			$k_f$ の対応すべき温度 $[^{\circ}\text{C}]$
						$\delta$ [1.5mm]	$\delta$ [2.0mm]	$\delta$ [2.7mm]	
180 watt	227	170	57	0.2	0.73	0.096	0.128	0.173	198.5
150 watt	210	156	54	0.184	0.671	0.093	0.124	0.168	183
112 watt	162	124	38	0.113	0.412	0.0814	0.108	0.146	143
50 watt	91	70	21	0.056	0.204	0.0728	0.097	0.131	82.5

これから被覆の熱伝導率  $k_f$  と温度との関係が得られるからこれを温度傾斜法の結果と対比すると  $\delta = 2$  [mm] とすると測定値と一致する。 $\delta$  は円筒線輪の半掛巻の場合は  $1.5 \sim 3$  [mm] 程度である。温度傾斜法では実測値  $\delta = 1.5$  [mm] とした。

### 3. 考 察

(1) 熱伝導率が温度と共に変化する状況は各種の物質について多くの研究成果が報告されている。本研究に関連した物質についてその例を示せば次

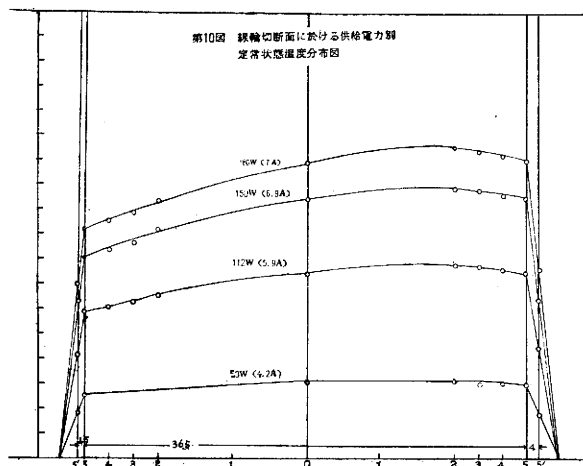
種 別	温度°C	0°	20°	50°	100°	200°
鍛 鉄		59.2	—	—	57	52.2
純 鉄		74	—	—	68	55
銅		388	—	381	374	365
空 気		24.1	25.5	—	31	34
絹		0.0336	0.036	—	0.0475	—
木 綿		—	0.058	—	0.0675	—
硝子綿	$\left( \begin{smallmatrix} 0.015 \sim 0.02 \\ 95 \text{ kg/m}^3 \end{smallmatrix} \right)$	0.056	0.0347	—	—	—
	150 kg/m <sup>3</sup>	0.0347	0.0384	—	0.0521	0.072
	200 kg/m <sup>3</sup>	—	0.0395	—	0.0521	0.0687

その割合は 100 [°C] で 95%, 200 [°C] で 87% となる。

次表に測定値と母材の変化を考慮した場合の修正値と更に圧着状況変化の割合を考慮した第二次校正値とを対比して示した。硝子繊維を主材としたものゝ熱伝導率の校正値は略硝子のそれに等しい。

	測 定 値	校 正 値 (圧力0.166kg/cm <sup>2</sup> )	第2次校正値 (圧力0.166kg/cm <sup>2</sup> 密着良好)
シリコン硝子繊維布	0.030 + 0.00014 $\theta$	0.030 + 0.00010 $\theta$	0.052 + 0.00009 $\theta$
シラスティクテープ	0.030 + 0.00020 $\theta$	0.030 + 0.00014 $\theta$	0.052 + 0.00014 $\theta$
DC 996 ワニス	0.090 + 0.00034 $\theta$	0.090 + 0.00029 $\theta$	0.156 + 0.00024 $\theta$

(2) 熱伝導率の測定にあつては試料の圧着状況接触面の性質等で著しい影響を受けることは検討したが<sup>1)</sup> DC 996 皮膜, 「シラスティクテープ」半掛巻 DC 996 含浸のもの, 木綿半掛巻 W-23 含浸のものゝ熱伝導率を測定した際荷重 0.166 [kg/cm<sup>2</sup>] を 0.826 [kg/cm<sup>2</sup>] に増加すると 100 [°C] における熱伝導率は約 2 倍に増加することが見られた。又 DC 996 皮膜の場合は特に 100 [°C] 附近でその熱伝導率の値が著しく「バラッキ」を示している。これはその温度附近で皮



のようである<sup>5)</sup>。

筆者の測定した硝子母材の「シリコン」絶縁物の熱伝導率は硝子綿のそれと略近似する。そして「シリコンワニス」のそれは硝子綿よりも高い値を示すので処理されたものは硝子綿よりも高い値となる。又上表から明らかな通り軟鋼母材も温度の変化に対しその熱伝導率の値を変化する。よつて本試験の成績もこれを考慮して校正する。



膜が軟化し接着状況が種々影響を受けるものと考えられる「シリコンオイル」を介在させた状態で中間位の値を示した。前述した通り W-23 でも同様に密着が完成されたと思われる状態以後では熱伝導率は約 2 倍の値を示し且安定した測定値を示している。どの程度の圧力をかけ何時間何度で乾燥した時の値が真の値であると定義する迄には別途の研究が必要である。

(3) 本報告の基礎をなす理論的の取扱いは正しいと考えるけれども温度傾斜法の場合には接着面の状況を完全に理論的にすることは困難であるし、線輪の温度分布を測定する場合にも理論の取扱そのものに仮定を設けるし実際測定の場合には放熱面の厚さの不同熱電対の介入状況自由対流の影響等色々の要素が混入する惧れがある。特に従来この種の実験が常温乃至 100 [°C] 附近迄のものが多いのに筆者の場合の如く電気絶縁物に対して相当高い温度迄測定を行うことは測定それ自体に若干の問題があるかも知れない。線輪の温度分布の理論は一次元の場合を示したが二次元の場合は次の式を解くこととなり、

$$k \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) + q = 0$$

求める温度分布の式は<sup>6)</sup>

$$t = \frac{q}{4k} \left[ a^2 - x^2 + b^2 - y^2 + \sum_{\nu=0}^{\nu=\infty} A_{\nu} \cosh \lambda \pi x \cdot \cos \frac{(2\nu+1)\pi y}{2b} \right. \\ \left. + \sum_{\nu=0}^{\nu=\infty} B_{\nu} \cosh \mu \pi y \cdot \cos \frac{(2\nu+1)\pi x}{2a} \right]$$

$$\text{ここに } \lambda = \pm \frac{(2\nu+1)}{2b}, \quad \mu = \pm \frac{(2\nu+1)}{2a}, \quad \nu: \text{正の整数}$$

$$A_{\nu} = \frac{(v_{\nu} - w_{\nu})b^2}{\cosh \lambda \pi a}, \quad B_{\nu} = \frac{(v_{\nu} - w_{\nu})a^2}{\cosh \mu \pi b}$$

$$\text{なお } v_{\nu} = \int_{-1}^{+1} v^2 \cos \left[ \frac{(2\nu+1)\pi}{2} \right] dv, \quad w_{\nu} = \left[ \frac{2a^2}{b^2(2\nu+1)\pi} \right] 2 \sin \frac{(2\nu+1)\pi}{2}$$

となるから本研究の場合には実験の基礎としては複雑に過ぎ研究の本質を見失う惧れがないとも云えない。一次元の取扱においてすら線輪を無限長の平板と仮定し又実測上  $\theta_1 < \theta_2$  であるのを  $\theta_1 \approx \theta_2$  として取扱つた場合もある。本実験成績には被覆の厚さの測定、熱電対による测温、電流電圧の変動、気温、相対湿度、気圧、試料の含水率乾燥時間等各種の誤差の介入を容認して居るので実用上には却つて有用な結果を与えていると考えることもできる。

何れにせよ「シリコン」絶縁物に対する熱伝導率と温度上昇の関係については本報告の如きものを見ないから一応の論拠を与えるものと信じている。

今後本資料は更に追求して行きたい考えである。

終に臨み本研究に関連し終始熱心な御指導御鞭撻を頂いている京大阿部清、林千博教授に、又協力を頂いた豊田講師、谷口氏或は自記記録計を使用させて頂いた竹屋先生、文献閲読の便宜を頂いた大谷教授又工作その他につき山口、淵、山本、田華諸氏等同窓の助力を頂いた。記して以て感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 藤 宗 寛 治 福井大学研究報告 p. 38 ~ 43 昭和29年8月
- (2) 大 賀 恵 二 伝熱諸論と其の適用 P. 28
- (3) Rudolf Richter Elektrische Maschinen P. 331
- (4) Rudolf Richter Elektrische Maschinen P. 328
- (5) 芝 亀 吉 物理常数表 P. 184, P. 190
- (6) Max. Jacob Arch. f. Elekt. 4 Heft P. 117 ~ 126 1919